

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2001271134  
PUBLICATION DATE : 02-10-01

APPLICATION DATE : 24-03-00  
APPLICATION NUMBER : 2000083372

APPLICANT : SUMITOMO METAL IND LTD;

INVENTOR : KUSHIDA TAKAHIRO;

INT.CL. : C22C 38/00 C21D 6/00 C21D 8/02 C21D 8/10 C22C 38/54

TITLE : LOW-ALLOY STEEL EXCELLENT IN SULFIDE STRESS CRACKING RESISTANCE  
AND TOUGHNESS

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a steel alloy excellent in toughness as well as SSC resistance even in the case the steel has high strength of  $\geq 155$  ksi YS.

SOLUTION: This low-alloy steel contains, by mass, 0.2 to 0.35% C, 0.05 to 0.5% Si, 0.1 to 1% Mn,  $\leq 0.025\%$  P,  $\leq 0.01\%$  S, 0.1 to 1.2% Cr, 0.1 to 1% Mo, 0.0001 to 0.005% B, 0.005 to 0.1% Al, 0.05 to 0.5% V,  $\leq 0.1\%$  Ni,  $\leq 0.01\%$  N and  $\leq 0.01\%$  O (oxygen), and the rest composed of Fe with impurities. The steel has Mo and V content satisfying the following inequalities (1) and (2) and has yield stress of  $\geq 1,060$  MPA (155 ksi).  
 $0.03 \leq \text{Mo} \times \text{V} \leq 0.3 \dots (1)$ , and  $0.5 \times \text{Mo} - \text{V} + \text{GS}/10 \geq 1 \dots (2)$  (wherein, GS denotes the ASTM grain size number of old austenitic grains).

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-271134  
(P2001-271134A)

(43) 公開日 平成13年10月2日 (2001.10.2)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 A 4 K 0 3 2
C 2 1 D 6/00		C 2 1 D 6/00	W
8/02		8/02	C
8/10		8/10	C
C 2 2 C 38/54		C 2 2 C 38/54	

審査請求 未請求 請求項の数 6 ( ) L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-83372(P2000-83372)

(22) 出願日 平成12年3月24日 (2000.3.24)

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社  
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 大村 朋彦

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号  
住友金属工業株式会社内

(72) 発明者 柳田 隆弘

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号  
住友金属工業株式会社内

(74) 代理人 100103481

弁理士 森 道雄 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 耐硫化物応力割れ性と靱性に優れた低合金鋼材

(57) 【要約】

【課題】 YSが155ksi以上と高強度であっても、耐SSC性と共に靱性にも優れている鋼材を提供する。

【解決手段】 質量%で、C:0.2~0.35%、Si:0.05~0.5%、Mn:0.1~1%、P:0.025%以下、S:0.01%以下、Cr:0.1~1.2%、Mo:0.1~1%、B:0.0001~0.005%、Al:0.005~0.1%、V:0.05~0.5%、Ni:0.1%以下、N:0.01%以下、O(酸素):0.01%以下を含有し、残部Feおよび不純物からなり、MoおよびV含有量が下記式

(1) および (2) を満たし、降伏応力が1060MPa (155ksi) 以上であることを特徴とする耐硫化物応力割れ性および靱性に優れた低合金鋼材。

0.03 ≤ Mo + V ≤ 0.3 (1)

0.5 &lt; Mo + V + GS 10 ≤ 1 (2)

ここで、GSは旧オーステナイト粒のASTM粒度番号を示す。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】質量%で、C:0.2~0.35%、Si:0.05~0.5%、Mn:0.1~1%、P:0.025%以下、S:0.01%以下、Cr:0.1~1.2%、Mo:0.1~1%、B:0.0001~0.005%、Al:0.005~0.1%、V:0.05~0.5%、Ni:0.1%以下、N:0.01%以下、O(酸素):0.01%以下を含有し、残部Feおよび不純物からなり、MoおよびV含有量が下記式(1)および(2)を満たし、降伏応力が1060MPa(155ksi)以上であることを特徴とする耐硫化物応力割れ性および靱性に優れた低合金鋼材。

$$0.03 \leq \text{Mo} \times \text{V} \leq 0.3 \quad (1)$$

$$0.5 \times \text{Mo} - \text{V} + \text{GS} / 10 \geq 1 \quad (2)$$

ここで、元素記号は各元素の含有量(質量%)を、GSは旧オーステナイト粒のASTM粒度番号を示す

【請求項2】Feの一部に替えて、0.005~0.1%のNbを含有していることを特徴とする請求項1に記載の低合金鋼材。

【請求項3】Feの一部に替えて、Ti:0.005~0.03%、Zr:0.005~0.06%のうちの1種または2種を含有していることを特徴とする請求項1または2のいずれかに記載の化学組成の低合金鋼材。

【請求項4】Feの一部に替えて、0.3~1%のWを含有していることを特徴とする請求項1~3のいずれかに記載の低合金鋼材。

【請求項5】Feの一部に替えて、0.0001~0.01%のCaを含有していることを特徴とする請求項1~4のいずれかに記載の低合金鋼材。

【請求項6】請求項1~5のいずれかに記載した化学組成の鋼を熱間加工し、次いで880~950℃の温度範囲内の温度に10分間以上保持した後焼入れ処理をおこない、その後焼戻し処理することを特徴とする耐硫化物応力割れ性および靱性に優れた降伏応力が1060MPa(155ksi)以上の低合金鋼材の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、油井やガス井用のケーシングやチュービング、掘削用のドリルパイプ、輸送用のラインパイプ、さらには石油化学プラント用配管などに好適な耐硫化物応力割れ性と靱性に優れた降伏応力が1060MPa(155ksi)以上の鋼材およびその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年のエネルギー事情の逼迫に伴い、これまで敬遠されてきた硫化水素を多く含む原油や天然ガスが活用される情勢になってきており、それらの掘削、輸送、貯蔵等が必要となってきた。さらに、油井やガス井の深井戸化、輸送効率の向上、さらには低コスト化のために、この分野で用いられる鋼材、特に鋼管について

は、これまで以上に高強度化が要求されている。

【0003】すなわち、従来広く用いられていた80ksi級[降伏応力(YS)が80~90ksi(552~621MPa)]や90ksi級[例えば、YSが90~100ksi(621~686MPa)]の耐硫化物応力割れ性に優れた鋼管に代わって、最近では110ksi級[YSが110~125ksi(758~862MPa)]や125ksi級[YSが125~140ksi(862~965MPa)]の耐硫化物応力割れ性に優れた高強度鋼管が使用されるようになり、さらにはYSが140ksi(965MPa~1068MPa)以上の耐硫化物応力割れ性に優れた超高強度鋼管に対する要求も高まりつつある。一般に、鋼材はその強度が増すほど硫化物応力割れ性(以後SSCという)が大きくなる。従って、硫化水素を多く含む環境下で使用される鋼材の高強度化に対し、最も大きな課題となるのはSSCに対する抵抗性(以後耐SSC性という)の改善である。

【0004】耐SSC性の改善に関しては、(1)鋼を高 cleanliness化する、(2)鋼材の組織を細粒組織とする、(3)鋼材の組織をマルテンサイトが約80%以上の組織とする、(4)高温焼戻し処理すること等で達成されることが知られている。

【0005】高強度鋼のSSCは旧オーステナイト粒界を起点として発生、進展すると言われているので、上記(1)のようにP、S等の不純物元素を低減して旧オーステナイト粒界の脆化を防止すれば耐SSC性の向上に有効である。

【0006】また、粒径を細かくすれば割れに対する抑止力が増し、さらに単位体積当たりの粒界面積が増加し間接的に不純物元素の粒界偏析が軽減され粒界脆化が防止されることから、上記(2)のように組織の細粒化も耐SSC性の改善に有効である。上記(3)のようにマルテンサイト率を高めて均一組織とすること、上記(4)のように焼戻し温度を高くして内部歪みを低減すること等も耐SSC性の改善に有効であると言われている。

【0007】例えば、特開昭62-253720号公報には、Mn、P等の不純物元素を低減することによる耐SSC性の改善方法が開示されている。また、特開昭59-232220号公報には、2回焼入れ熱処理により組織を微細化させ、耐SSC性を改善する方法が開示されている。特開平6-322478号公報には、誘導加熱により組織を微細化させた耐SSC性能に優れた125ksi級の鋼材を得る方法が開示されている。また、特開平8-311551号公報には、直接焼入れ法を用いて、焼入れ性や焼戻し温度を高めることにより、耐SSC性に優れた110ksi級~140ksi級の強度の鋼管の製造方法について開示されている。

【0008】ただし、これまでは110ksi級もしくは

はそれ以下の強度の鋼材に関する検討が多数を占め、それ以上の強度、例えば125~140ksi級の鋼材の耐SSC性の改善は困難であることから、検討例は少ない。まして、155ksi級(YSが155ksi(1060MPa)以上)の強度の鋼材についての検討例は皆無である。

【0009】一方、高強度化に伴う耐SSC性の低下に加えて、特にYSが140ksi(965MPa)以上の低合金鋼に関しては、靱性の低下も重大な問題となることが最近判明してきた。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は、YSが1060MPa(155ksi)以上と高強度であっても耐SSC性および靱性に優れている鋼材を提供することにある。

【0011】具体的な耐SSC性の目標は、NACE(National Association of Corrosion Engineers)TM0177-96A法に規定された浴(硫化水素で飽和した25℃の0.5%酢酸+5%食塩水)中での定荷重試験での割れ発生限界応力( $\sigma_{th}$ )が、鋼材のYSの85%以上である。また、靱性の目標は、使用環境、運搬される環境を考慮し破面遷移温度(延性/脆性破面の面積比が1:1となる温度)が-10℃以下である。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記課題を解決するため、実験、検討を重ねた結果、下記の知見をえるに至った。

【0013】a) 155ksi級鋼材の耐SSC性と靱性は炭化物の形態に大きく支配される。

【0014】b) 耐SSC性の改善には、正方晶構造の微細なMC型の炭化物(以下、単にMCと記す)を形成する元素であるMo、VおよびNbの合金元素を含有させて焼戻し温度を高めるのが効果的である。

【0015】c) さらに、上記合金元素は、焼入れ性を高める作用があり、組織中のマルテンサイト率を多くして耐SSC性を改善する効果もある。

d) 靱性の改善には、Nb、Vによる析出強化を極力避け、Moを活用して $M_{23}C_6$ 型炭化物(以下、単に $M_{23}C$ と記す)の成長を遅らせるのが最も効果的である。

【0016】e) しかし、VはNbほどではないにせよ微細な炭化物として母材と整合性を保ちつつ析出し、靱性を低下させる。ただしV炭化物は通常の焼入れ温度の900℃近傍で十分鋼中に固溶し、後の焼戻し時の析出強化に寄与するため、粗粒化による靱性低下の問題は生じない。これに対して、MoはFe主体の粗大な $M_{23}C$ 中に濃化し焼戻し温度を高め、かつこれら $M_{23}C$ はMCほど靱性を低下させない。このような観点から、Moを活用し、Vとうまくバランスさせて含有させることにより、耐SSC性と靱性とを同時に改善することができる。

【0017】本発明は、上記知見に基づきなされたもので、その要旨は以下の通りである。

【0018】(1) 質量%で、C:0.2~0.35%、Si:0.05~0.5%、Mn:0.1~1%、P:0.025%以下、S:0.01%以下、Cr:0.1~1.2%、Mo:0.1~1%、B:0.0001~0.005%、Al:0.005~0.1%、N:0.01%以下、V:0.05~0.5%、Ni:0.1%以下、W:1.0%以下、O(酸素):0.01%以下を含有し、残部Feおよび不純物からなり、MoおよびV含有量が下記式(1)および(2)を満たし、降伏応力が1060MPa(155ksi)以上である耐硫化物応力割れ性および靱性に優れた低合金鋼材。

【0019】 $0.03 \leq Mo/V \leq 0.3$  (1)

$0.5 \leq Mo - V + GS / 10 \leq 1$  (2)

ここで、元素記号は各元素の含有量(質量%)を、GSは旧オーステナイト粒のASTM粒度番号を示す

(2) Feの一部に替えて、0.005~0.1%のNbを含有している上記(1)に記載の低合金鋼材。

【0020】(3) Feの一部に替えて、Ti:0.005~0.03%、Zr:0.005~0.06%のうちの1種または2種を含有している上記(1)または(2)のいずれかに記載の低合金鋼材。

(4) Feの一部に替えて、0.3~1%のWを含有している上記(1)~(3)のいずれかに記載の低合金鋼材。

(5) Feの一部に替えて、0.0001~0.01%のCaを含有している上記(1)~(4)のいずれかに記載の低合金鋼材。

【0021】(6) 上記(1)~(5)のいずれかに記載した化学組成の鋼を熱間加工し、次いで880~950℃の温度範囲内の温度に10分間以上保持した後焼入れ処理をおこない、その後焼戻し処理すること特徴とする耐硫化物応力割れ性および靱性に優れた降伏強度が1060MPa(155ksi)以上の低合金鋼材の製造方法。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の鋼材の化学組成および製造条件について詳しく説明する。なお、化学成分の含有量の「%」表示は「質量%」を示す。

【0023】鋼材の化学組成:

C:0.2~0.35%

Cは、焼入れ性を高めて強度を向上させるのに有効な元素である。その含有量が、0.2%未満では焼入れ性が低下し十分な耐SSC性、靱性が得られないことが多い。一方、0.35%を超えると、炭化物が増加し水素のトラップサイトとなって耐SSC性が低下し、さらには焼割れ感受性も増大する。したがって、Cの含有量を0.2~0.35%とした。好ましくは0.25~0.

30%である。

【0024】Si: 0.05~0.5%

Siは、鋼の脱酸に有効な元素であり、焼戻し軟化抵抗を高める効果もある。脱酸の目的からは0.05%以上の含有量とする必要がある。しかし、その含有量が0.5%を超えると、軟化相のフェライト相の析出を促進し耐SSC性を著しく低下させる。したがって、Siの含有量を0.05~0.5%とした。好ましいSi含有量の上限は0.3%である。

【0025】Mn: 0.1~1%

Mnは、鋼の焼入れ性を確保するのに有効な元素である。この目的からは0.1%以上の含有量が必要である。しかし、1%を超えて含有させると粒界に偏析して耐SSC性および靱性を低下させる。したがって、Mnの含有量を0.1~1%とした。なお、Mn含有量の上限は望ましくは0.5%である。

【0026】P: 0.025%以下

Pは、不純物として鋼中に不可避免的に存在するが、粒界に偏析して耐SSC性や靱性を劣化させる。特にその含有量が0.025%を超えると耐SSC性や靱性の劣化が著しくなる。このため、不純物として混入するとしてもその含有量は0.025%以下にする必要がある。なお、耐SSC性や靱性を高めるためにPの含有量はできるだけ低くすることが望ましい。

【0027】S: 0.01%以下

Sは、Pと同様に不純物として鋼中に不可避免的に存在するが、粒界に偏析することと、硫化物系の介在物を多量に生成することによって耐SSC性や靱性を低下させる。特に、その含有量が0.01%を超えると耐SSC性や靱性の低下が著しくなる。したがって、不純物として混入するとしてもその含有量は0.01%以下にする必要がある。なお、耐SSC性を高めるためにSの含有量はできるだけ低くすることが望ましい。

【0028】Cr: 0.1~1.2%

Crは、焼入れ性を向上させる効果がある。この効果を確実に得るためにはCrの含有量は0.1%以上とする必要がある。しかし、Crを1.2%を超えて含有させると、硫化水素を含む酸性の湿潤環境ではCrが活性溶解して腐食速度が大きくなり耐SSC性を低下させる。したがって、Crの含有量を0.1~1.2%とした。好ましくは0.4~1%である。

【0029】Mo: 0.1~1%

Moは、焼入れ性を向上させ、かつM<sub>2</sub>C中に濃化してその成長を遅らせ焼戻し軟化抵抗を高める本発明における重要な元素である。また、Nb、Vと同時に添加すると微細なMCを形成し高温焼戻しを可能にし、耐SSC性を向上させる。その含有量が0.1%未満では前記の効果が得られない。一方、1%を超えて含有させると、上記の効果が飽和するのに加え、焼戻し時に針状のMo炭化物が析出して水素をトラップして吸蔵水素量を

増し、かつその周辺の応力集中により耐SSC性を却って低下させることがある。したがって、Moの含有量を0.1~1%とした。好ましくは0.3~0.7%である。

【0030】B: 0.0001~0.005%

Bは、微量で鋼の焼入れ性を向上させる作用を有する。しかし、その含有量が0.0001%未満ではその効果が充分でなく、0.01%を超えると粒界にCr<sub>2</sub>B<sub>3</sub>(C、B)<sub>2</sub>を析出させ、耐SSC性および靱性が低下するため、Bの含有量を0.0001~0.005%とした。なお、B含有量の望ましい範囲は、0.0002~0.002%である。

【0031】Al: 0.005~0.1%

Alは、鋼の脱酸に必要な元素である。しかし、その含有量が0.005%未満では十分な効果が得られない。一方、0.1%を超えて含有させると粗大なAl系介在物が多くなって、耐SSC性および靱性が低下する。したがって、Alの含有量を0.005~0.1%とした。Al含有量の望ましい範囲は0.01~0.05%である。なお、本発明でいうAlとは所謂「sol. Al(酸可溶Al)」のことである。

【0032】V: 0.05~0.5%

Vは、焼戻し時に微細な炭化物として析出して高温焼戻しを可能とし、耐SSC性を改善する作用を有する本発明における重要な元素である。この効果を確実に得るには0.05%以上とする必要がある。一方、V含有量が0.5%を超えると効果が飽和して強化に寄与しなくなることに加え、靱性の低下や、VCが水素のトラップサイトとなることによる耐SSC性の低下が起こる。このため、Vの含有量を0.05~0.5%とした。望ましくは0.1%を超え、0.2%以下である。

【0033】Ni: 0.1%以下

Niは、不純物として鋼中に存在し、本発明で規定する化学組成の範囲の鋼においては耐SSC性を低下させる。特に、Niの含有量が0.1%を超えると耐SSC性の低下が著しくなる。したがって、Niの含有量を0.1%以下とした。なお、Niは、Cr原料中に不可避免的に含まれており、Crを含有させる場合、Niの含有量を0(ゼロ)にすることは工業的に極めて難しいが、できるだけ少なくすることが望ましい。

【0034】N: 0.01%以下

Nは、不純物として鋼中に存在し、粒界に偏析して靱性および耐SSC性を低下させる。また、TiやZrを添加する場合は、TiNやZrNを形成する。Nの含有量が0.01%を超えると、TiやZrで固定しきれないNがBNとして析出するので、Bも焼入れ性向上効果が十分得られなく、耐SSC性や靱性が低下する。また、過剰なTiNやZrNの析出は靱性を大幅に低下させる。したがって、Nの含有量を0.01%以下とした。なお、Nは大気中などから鋼中に侵入し、その含有量を

O (ゼロ) にすることは工業的に極めて難しいが、できるだけ少なくすることが望ましい。

【0035】O (酸素) : 0.01%以下

Oは、不純物として鋼中に存在し、粒界に偏析して耐SSC性および靱性を低下させる。しかし、その含有量が0.01%以下であれば許容できることから、Oの含有量を0.01%以下とした。なお、Oは大気中などから鋼中に侵入し、その含有量をO (ゼロ) にすることは工業的に極めて難しいが、できるだけ少なくすることが望ましい。

【0036】Nb : 0.1%以下

Nbは、必要により含有させる元素で、含有させれば通常の焼入れ、焼戻し熱処理では未固溶の炭化物として存在し、ピーニング効果により細粒化に有効である。また、直接焼入れ法により焼入れ時に完全に固溶させとともに焼戻し温度を高めれば、焼戻し軟化抵抗を高めることに活用でき、耐SSC性を高めることもできる。この効果を得るためには、Nbを0.005%以上含有させる必要がある。一方、0.1%を超えて含有させるとNb炭化物が靱性を大幅に低下させる。従って、Nbの含有量を0.005~0.1%とした。望ましいNbの上限は0.05%である。

【0037】Ti : 0.005~0.03%、Zr : 0.005~0.06%のうちの1種以上

TiおよびZrは、必要により含有させる元素であるが、鋼中の不純物であるNをTiNまたはZrNとして固定する効果がある。N固定に必要とするよりも過剰なTiは、炭化物となって微細に析出し、焼戻し軟化抵抗を高める効果を有する。Nの固定は、焼入れ性向上のために添加するBがBNとなるのを抑制し、Bを固溶状態に維持して十分な焼入れ性を確保するために必要である。こうした効果を得る場合には、TiおよびZr共に0.005%以上で、かつ窒化物を形成するのに必要な化学量論量以上とするのがよい。Tiの含有量が0.03%を、Zrの含有量が0.06%をそれぞれ超えると、微細なTi炭化物やZr炭化物が過剰に析出し靱性を大きく低下させるので、その上限はTiは0.03%、Zrは0.06%とした。望ましいTiの上限値は0.02%、Zrは0.04%である。

【0038】W : 0.3~1%

Wは、必要により含有させる。含有させれば焼入れ性を高め、焼戻し軟化抵抗を高めて耐SSC性を向上させる作用を有する。前記の効果を確実に発揮させるには、Wの含有量は0.3%以上とすることが好ましい。しかし、1%を超えて含有させると前記の効果が飽和あるいは低下するのに加え、過剰なW炭化物が水素のトラップサイトとなって却って耐SSC性が低下する。したがって、Wの含有量を0.3~1%とした。なお、W含有量の上限は0.7%とすることが好ましい。

【0039】Ca : 0.0001~0.01%

Caは、必要により含有させる元素で、含有させれば鋼中のSと結合して硫化物を形成し、介在物の形状を改善して耐SSC性を向上させる。したがって、前記の効果を確保したい場合には、Caを含有させるのがよい。なお、前記の効果を確実に得るには、Caは0.0001%以上が必要である。しかし、その含有量が0.01%を超えると、却って耐SSC性や靱性が低下し、また鋼材表面に地疵などの欠陥が発生し易くなる。したがって、Caの含有量を0.0001~0.01%とした。

【0040】(1) および (2) 式

$$0.03 \leq Mo \times V \leq 0.3 \quad (1)$$

$$0.5 \times Mo - V + GS / 10 \leq 1 \quad (2)$$

本発明の降伏応力が155ksi以上の低合金鋼材では、耐SSC性と靱性とを両立させるためには、MoとVが下記式を満たす量とする必要がある。

【0041】耐SSC性向上の観点からは、下記式のように $Mo \times V$ が0.03%以上となるように含有させ、析出強化を活用し焼戻し温度を高める必要がある。

【0042】 $0.03 \leq Mo \times V$

一方、過剰のMoおよびVによる析出強化は、MCが水素のトラップサイトとなるので耐SSC性を却って低下させる。このため、下記の(1)式のように $Mo \times V$ が0.3%以下となるようにする必要がある。

【0043】 $Mo \times V \leq 0.3 \quad (1)$

靱性の観点からは、Vによる析出強化よりも、Moによる $M_2C$ の成長抑止効果を用いた方がよい。この理由は、整合歪みを周囲に固着するVCよりも、非整合析出する $M_2C$ の方が靱性に対する感受性が低いためである。Moは、この $M_2C$ 中に濃化してその成長を遅らせ、焼戻し軟化抵抗を高める働きがある。また、靱性は旧オーステナイト粒径の影響も受けるため、より細粒組織とするのが望ましい。これらの観点から、Vや粒度に対して、Moを下式(2)を満足するように含有させる必要がある。

【0044】

$$0.5 \times Mo - V + GS / 10 \leq 1 \quad (2)$$

GSは、旧オーステナイト粒のASTM粒度番号を示す。

【0045】製造方法：本発明の鋼材は、上記の化学組成を有する鋼を用いて、板材や継目無鋼管等に熱間加工した後、焼入れ処理を実施し組織を再結晶させ、結晶粒を微細化することにより得られる。この際、焼入れ温度が880℃未満であると十分な焼入れができなく、局部的に軟化相ができて耐SSC性が低下する。一方、焼入れ温度が950℃を超えた場合、結晶粒の粗大化が起こって靱性が低下する。焼戻し温度は特に限定しないが600~700℃の範囲が好ましい。高い温度で焼戻すことにより、内部歪みが低減されたり、MCが均一分散して耐SSC性がより向上する。なお、直接焼入れ後や、数回の焼入れ焼戻しの後、最終的に上記の温度範囲

で焼入れ処理をすればよいが、製造コスト低減の観点から焼入れ、焼戻し処理は一回にするのが望ましい。

【0046】

【実施例】表1に示す化学組成を有する20種の低合金鋼を150kg真空溶解および150トン転炉にて溶

製して鋼塊とした後、熱間加工して鋼板と鋼管を製造した。

【0047】

【表1】

鋼符号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	B	Al	V	Ni	N	O	Nb	Ti	その他	Mo×V
(A)	0.25	0.26	0.50	0.012	0.001	0.50	0.71	0.0010	0.033	- *	0.01	0.0068	0.0020	0.032	0.025		0 *
(B)	0.25	0.11	0.20	0.002	0.001	0.98	1.04*	0.0003	0.033	- *	0.02	0.0007	0.0010	0.033	0.015	Ca:0.005	0 *
C	0.23	0.11	0.19	0.002	0.001	0.50	0.73	0.0003	0.033	0.29	0.01	0.0026	0.0019	0.008	0.007	W:0.61	0.212
D	0.24	0.10	0.20	0.001	0.001	0.50	0.74	0.0003	0.031	0.51*	0.01	0.0008	0.0013	0.033	0.016		0.377*
E	0.25	0.10	0.21	0.011	0.001	0.49	0.69	0.0003	0.032	0.39	0.01	0.0007	0.0022	0.033	0.015		0.269
(F)	0.24	0.09	0.19	0.001	0.001	0.48	0.69	0.0006	0.030	0.70	0.01	0.0010	0.0013	0.029	0.015		0.138
(G)	0.21	0.11	0.19	0.001	0.001	0.48	0.77	0.0003	0.034	0.05	0.01	0.0013	0.0008	0.098	0.016		0.039
H	0.24	0.10	0.21	0.001	0.001	0.21	0.54	0.0033	0.033	0.20	0.01	0.0009	0.0012	0.038	0.015		0.108
I	0.23	0.10	0.20	0.002	0.001	0.51	0.51	0.0004	0.029	- *	0.020	0.0009	0.0005	0.035	0.014		0 *
J	0.22	0.09	0.20	0.002	0.001	0.50	0.30	0.0003	0.032	- *	0.010	0.0009	0.0012	0.031	0.012		0 *
(K)	0.27	0.31	0.44	0.007	0.001	1.00	0.69	0.0011	0.027	0.09	10.01	0.0041	0.0011	0.005	-	Zr:0.05	0.062
(L)	0.29	0.29	0.48	0.001	0.001	0.50	0.30	0.0004	0.030	0.20	0.010	0.0008	0.0009	0.031	0.013		0.060
(M)	0.23	0.27	0.72	0.016	0.004	0.96	0.16	0.0012	0.040	- *	0.010	0.0063	0.0011	0.002	0.024		0 *
N	0.23	0.30	0.80	0.015	0.003	0.98	0.15	0.0010	0.035	0.31	10.01	0.0077	0.0012	0.001	0.015		0.047
O	0.27	0.31	0.44	0.007	0.005	1.00	0.29	0.0011	0.027	0.09	0.010	0.0009	0.0013	0.005	0.025		0.026
P	0.25	0.25	0.45	0.014	0.007	1.02	0.51	0.0012	0.023	0.09	01	0.0045	0.0009	0.025	0.010		0.046
Q	0.27	0.31	0.40	0.008	0.005	0.97	0.30	0.0020	0.025	0.35	0.02	0.0053	0.0008	0.030	0.011		0.105
R	0.25	0.11	0.20	0.008	0.008	0.93	0.98	0.0006	0.029	0.31	0.01	0.0043	0.0014	0.006	0.008		0.304
S	0.27	0.26	0.43	0.016	0.008	0.54	0.98*	0.0003	0.031	- *		0.0027	0.0019	0.030	0.014		0 *
T	0.28	0.31	0.40	0.009	0.004	0.96	0.09	0.0011	0.072	0.11		0.0041	0.0008	0.031	0.025		0.01 *

\* 本発明で規定する範囲外を示す

鋼符号の( )は転炉溶製材、その他は真空溶製材

表中の鋼符号(A)、(B)、(F)、(G)、(K)～(M)が転炉溶製材で、その他は真空溶製材である。

【0048】真空溶解した各150kg鋼塊は、1250℃に加熱してから熱間鍛造して厚さ40mm、幅80mm、長さ250mmの鋼片とした。この鋼片を熱間圧延して厚さ15mmの鋼板とし、表2に示す温度で焼入れ、焼戻し熱処理を施し強度調整した。

【0049】また、転炉溶製材は丸ビレットにして、通常のマンネスマン/マンドレルミル方式の製管方法により、外径250mm、肉厚16mmの継目無鋼管を製造した。

【0050】

【表2】

試験番号	鋼符号	Mo	V	Mo×V	焼入れ温度(℃)		焼戻し温度(℃)	粒度番号(GS)	0.5Mo-V +GS/10	YS(ksi)	耐SSC性	VTs(℃)	備考
					1回目	2回目							
1	(A)	0.71	0 *	0 *	950	-	500	9.0	1.254	158	×	-30	比較例
2	(B)	1.04 *	0 *	0 *	900	-	500	10.5	0.568 *	157	×	-40	
3	C	0.73	0.29	0.212	920	-	700	10.0	1.075	168	○	-50	本発明例
4	D	0.74	0.51*	0.377 *	900	-	720	10.5	0.910 *	167	×	0	比較例
5	E	0.69	0.39	0.269	920	-	720	10.0	0.955 *	165	○	-5	
6	E	0.69	0.39	0.269	920	900	720,720	11.0	1.055	167	○	-20	本発明例
7	(F)	0.69	0.20	0.138	950	-	700	9.0	1.045	164	○	30	
8	(G)	0.77	0.05	0.039	920	900	600,600	11.0	1.435	160	○	-60	
9	H	0.54	0.20	0.106	900	-	660	10.0	1.070	169	○	-40	
10	I	0.51	0 *	0 *	920	-	500	10.0	1.255	157	×	40	比較例
11	J	0.30	0 *	0 *	920	-	500	10.0	1.150	159	×	-50	
12	(K)	0.69	0.09	0.062	900	-	640	9.5	1.205	161	○	-40	本発明例
13	(L)	0.30	0.20	0.062	920	-	640	10.0	0.950 *	166	○	0	比較例
14	(L)	0.30	0.20	0.060	950	920	640,640	11.0	1.050	167	○	-20	本発明例
15	(M)	0.16	0 *	0 *	920	-	450	10.0	1.070	158	×	40	比較例
16	N	0.15	0.31	0.047	920	-	600	10.0	0.765 *	167	○	20	
17	O	0.29	0.09	0.026 *	950	-	600	9.5	1.005	163	×	-30	比較例
18	P	0.51	0.09	0.046	900	-	600	10.5	1.215	163	○	-40	本発明例
19	Q	0.30	0.35	0.105	950	920	660,660	11.0	0.900 *	169	○	0	比較例
20	R	0.98	0.31	0.304	920	-	720	10.0	1.180	168	×	-40	本発明例
21	S	0.08 *	0 *	0 *	920	-	450	10.0	1.040	158	×	-30	比較例
22	T	0.09	0.11	0.01 *	920	-	450	10.5	0.985 *	162	×	0	

\* 本発明で規定する範囲外を示す

鋼符号の( )は転炉溶製材、その他は真空溶製材

上記の鋼板および継目無鋼管から、平行部が圧延方向になるように、平行部が直径6mm、長さ40mmの丸棒

引張試験片を採取し、室温で引張試験をおこなって、降伏応力(YS)を測定した。

【0051】また、平行部の直径が6.35mmで長さが25.4mmの丸棒引張試験片を平行部が圧延方向となるように採取し、NACE TM0177-96 A法に準拠した方法で耐SSC性の評価試験をおこなった。この試験は、硫化水素で飽和した25℃の0.5%酢酸+5%食塩水中での定荷重試験で、硫化水素の分圧は実環境を想定し0.003気圧、また応力はYSの85%を負荷した。

【0052】また、靱性を評価するため、圧延方向と直交する方向に平行に10mm×10mm×55mmのシャルピー試験片(Vノッチ)を採取した。この試験片の採取方向を圧延方向と直交する方向にしたのは、圧延方向と直交する方向での評価の方が長手方向の評価に比べ過酷な条件となるためである。この試験片を用いて、種類の温度で衝撃試験を実施し、破面中の延性破面と脆性破面の面積比が1:1になる温度を破面遷移温度 $vT_s$ とした。

【0053】表2に測定したYSおよび耐SSC性と靱性の評価結果を示す。耐SSCの評価は、720時間

の試験時間中に破断しなかった場合を耐SSC性が良好と判定し○印とし、破断した場合を×とした。

【0054】なお、表2中に示した旧オーステナイト相の粒径は、焼戻し材から顕微鏡試験片を採取し、樹脂埋めして研磨し、表面をナイトル溶液で腐食後、JIS G0551に従う方法で粒度番号を測定しものである。表2から明らかなように、本発明で規定する化学組成、粒度番号の鋼材は良好な耐SSC性と靱性を併せて有していることがわかる。一方、比較例では、化学組成、粒度が本発明の規定を満たしていないので、耐SSC性もしくは靱性が十分でないことが認められる。

【0055】

【発明の効果】本発明によれば、YSが1060MPa(155ksi)以上の高強度であっても良好な耐SSC性と靱性を併せ持つ鋼材が得られ、油井やガス井用のケーシングやチュービング、掘削用のドリルパイプ、輸送用のラインパイプ、さらには石油化学プラント用配管などに用いて優れた効果を奏し、産業上極めて有効である。

フロントページの続き

Fターム(参考) 4K032 AA01 AA02 AA05 AA08 AA11  
AA12 AA16 AA19 AA21 AA22  
AA23 AA26 AA27 AA29 AA31  
AA35 AA36 AA37 AA39 BA01  
BA03 CA03 CF03



